

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Svodiče přepětí
Overvoltage Surges

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Daněk**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Svodiče přepětí**
Overvoltage Surges

Zásady pro vypracování:

1. Rozeberte podstatu činnosti svodičů přepětí.
2. Realizujte průzkum trhu pro svodiče nn, vn a vvn.
3. Definujte podmínky nasazení a výběr parametrů pro nasazení v praxi.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dle pokynů vedoucího bakalářské práce.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Hytka, CSc.**

Datum zadání: 30.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 27.4.2012

Jiří Daněk 

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je popis a rozdělení jednotlivých druhů svodičů přepětí, možnosti diagnostických metod pro testování funkčnosti a spolehlivosti a tím zvýšení bezpečnosti chráněných objektů a zařízení. Pro vypracování této práce jsem využil praktických zkušeností při provádění diagnostiky svodičů přepětí VVN.

Klíčová slova

Svodič přepětí, jiskřiště, napětově závislý odpor, přepětí, diagnostika.

Abstract

The objective of this thesis is the assessment and description of types of overvoltage surges, potentialities of diagnostic methods for testing the functions and reliability and therefore increasing the security of protected properties and devices. I have used my own experience in performing the diagnosis of overvoltage surges VVN to complete the thesis.

Key words

Surge Arrester, Sparkgap, Voltage dependent resistance, Overvoltage, Diagnostics.

Seznam použitých symbolů a zkratk

Symbol	název	jednotka
f	frekvence	[Hz]
I	elektrický proud	[A]
t	čas	[s]
T	teplota	[°C]
U	elektrické napětí	[V]

Zkratka	význam
AC	střídavé napětí
apod.	a podobně
LPZ (Lightening protection zones)	zóny ochrany před bleskem
N	pracovní vodič
NN	nízké napětí
PE	ochranný vodič
PEN	vodič slučující funkci ochranného vodiče a středního vodiče
SPD (Surge Protective Device)	svodič přepětí
VA charakteristika	voltampérová charakteristika
SiC	karbid křemíku
ZnO	oxid zinku

1	Úvod	8
2	Druhy přepětí:	9
2.1.1	Atmosférická přepětí	9
2.1.2	Indukovaná přepětí	10
2.1.3	Spínací přepětí	10
2.1.4	Trvalá přepětí	11
2.1.5	Dočasná přepětí	11
2.1.6	Přechodná přepětí	12
2.2	Zavedení svodičů přepětí	12
2.3	Definice svodiče přepětí	13
2.4	Koordinace svodičů	13
3	Historický vývoj	17
3.1	První etapa (do roku 1914)	17
3.2	Druhá etapa (1914-1929)	17
3.3	Třetí etapa (1930-1939)	17
3.4	Čtvrtá etapa (1940-1956)	17
3.5	Pátá etapa (1956 -současnost)	18
4	Rozdělení svodičů přepětí	19
4.1	Rozdělení svodičů dle napěťové hladiny - svodiče přepětí na:	19
4.2	Konstrukce svodičů přepětí:	19
4.3	Druhy omezovačů a svodičů přepětí:	19
4.3.1	Varistor	19
4.3.2	Plynová výbojka	22
4.3.3	Supresorová dioda	22
4.3.4	Koordinální jiskřiště	23
4.3.5	Bleskojistka	23
4.3.6	Ventilová bleskojistka	24
4.3.7	Törroková trubice	25
4.3.8	Omezovač přepětí	26
5	Technická diagnostika	27
5.1	Diagnostika	27
5.2	Diagnostické prostředky	27
5.3	Technický stav objektu	28

5.4	Metody a koncepce technické diagnostiky	28
6	Diagnostika svodičů přepětí.....	29
6.1	Diagnostika svodičů přepětí nn	29
6.2	Diagnostika svodičů přepětí vn - zvn	29
6.2.1	Diagnostika svodičů přepětí za provozu (on-line)	30
6.2.1.1	Měření teploty.....	30
6.2.1.2	Měření 3. harmonické odporové složky svodového proudu.....	30
6.2.2	Diagnostika svodičů přepětí vyjmutých z provozu (offline)	32
6.2.2.1	Měření svodového proudu	32
6.2.2.2	Měření střídavého zapalovacího napětí	32
7	Závěr	34
	Literatura.....	35

1 Úvod

Jedním z jevů ovlivňujících spolehlivost distribuční sítě je přepětí. Přepětí je nežádoucí krátkodobý přechodový jev vznikající především atmosférickými vlivy nebo provozem distribuční sítě. Jedná se o napětí, které se vyskytne v distribuční síti a přesahuje nejvyšší hodnotu provozního napětí v elektrickém obvodu. S rozvojem energetiky a elektroniky vyvstala potřeba tyto nežádoucí jevy eliminovat. K ochraně proti přepětí se začaly využívat přístroje, které obecně nazýváme svodiče přepětí. V této bakalářské práci se zabývám nejen teoretickým rozбором svodičů přepětí, ale i souborem činností zajišťujících spolehlivý a bezpečný provoz těchto zařízení se zaměřením na diagnostické prostředky.

2 Druhy přepětí

- Atmosférická přepětí.
- Indukovaná přepětí
- Spínací přepětí.
- Trvalá přepětí.
- Dočasná přepětí.
- Přechodná přepětí.

2.1.1 Atmosférická přepětí

Atmosférické přepětí je krátkodobé pulzní přepětí, které trvá nanosekundy až milisekundy a dosahuje až desítek megavolt. Nejčastěji vzniká při úderu blesku do vedení nebo elektromagnetickou indukcí při úderu blesku v blízkosti vedení.

Obr. 1 Zásah blesku do vedení



Zdroj: <http://forum.bourky.com/viewtopic.php?f=27&t=696>

Blesk je výboj mezi zemí a elektricky nabitým mrakem (zemní blesk), mezi dvěma a více mraky, nebo mezi jednotlivými částmi jednoho mraku. Intenzita bouřek a tím i úderů blesků závisí na ročním období. V našich zeměpisných šířkách zasáhne blesk vedení za rok zhruba třicetkrát na 100 kilometrů délky (2-8 úderů na km^2/rok). Přepětí je rozlišné u vedení s uzemněnými konzolami a u vedení na dřevěných sloupech. Po zasažení vedení s uzemněnými konzolami způsobuje úder blesku do zemnicího lana, do konstrukce nebo do fázového vodiče přeskoky mezi zemí a vedením a většinou i mezi fázovými vodiči. Přeskok na zem snižuje velikost přepětí z řádů miliónu voltů na tisíce voltů, po vedení se začne šířit řada strmých impulsů vzniklých několikanásobnými přeskoky na izolaci vedení, a za ní se začne šířit pomalejší vlna přepětí, která vznikla nárůstem potenciálu v místě úderu blesku na

uzemnění. Vedení na sloupech bez uzemněných konzol i vedení na dřevěných sloupech mají proti zemi obrovskou izolační pevnost, která zapříčiňuje, že po úderu blesku do vodičů se po vedení může přenést přepětí tisíců kilovoltů na velkou vzdálenost, a tím zapříčinit obrovské škody.

2.1.2 Indukovaná přepětí

Přepětí při nepřímých úderech blesku, neboli přepětí indukovaná, vznikají při úderu blesku do země nebo do konstrukce. Většinou mají ve všech vodičích stejnou velikost a mají také opačnou polaritu než bleskový proud. Indukovaná přepětí mají menší hodnoty než přepětí při přímém úderu blesku. Ve vedení se indukuje přepětí, která také můžou překročit izolační hladinu. Při úderu blesku v menší vzdálenosti od vedení, zhruba do 5 kilometrů, může v tomto vedení vzniknout nebezpečné napětí pro izolační systém vedení a připojených zařízení. Pokud je vzdálenost větší a i když indukované napětí dosáhne menších hodnot, může dojít k poruše.

Přepětí vyvolané bleskovým výbojem v budově vzniká obdobně jako u venkovního vedení. Budova však se svými instalacemi jak sdělovacími, tak elektrickými, představuje složitější systém. Ochrana datových a elektrických sítí přikládáme velký význam.

Přepětí zde mohou vznikat:

- Přímým úderem blesku do sítě nn.
- Indukcí.
- Přeskokem z hromosvodů a jiných uzemněných částí do sítě nn.

Přepětí mohou také vznikat indukací při kříženém nebo souběžném vedení nn sítě s datovou sítí. Spínáním různých spotřebičů může v síti docházet k napěťovým špičkám, které mohou v datových sítích dle Faradayova zákona indukovat napětí. Při realizaci datových sítí je proto nutno klást datové vodiče co nejdále od rozvodů elektrické energie. V praxi to ale není zcela jednoduché a k tomuto křížení dochází. Na trhu proto existuje velké množství svodičů přepětí pro ochranu datových sítí, například pro ochranu ethernetových sítí s připojením na konektor RJ45.

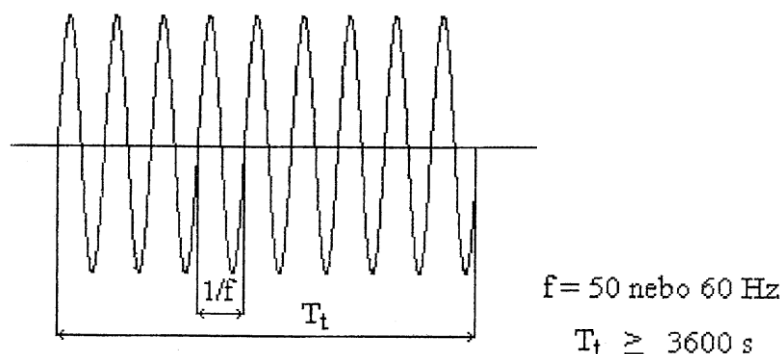
2.1.3 Spínací přepětí

Jsou to četná přepětí vznikající činností v průmyslu - při vypínání větších zátěží, hlavně induktivního charakteru (elektromotory, transformátory apod.), nebo při zkratech v síti. Jsou důsledkem přechodných dějů.

2.1.4 Trvalá přepětí

Jedná se o střídavé přepětí se síťovou frekvencí s konstantní efektivní hodnotou. Toto přepětí může vzniknout kupříkladu nesprávným nastavením odbočky na transformátoru.

Obr. 2 Trvalé přepětí



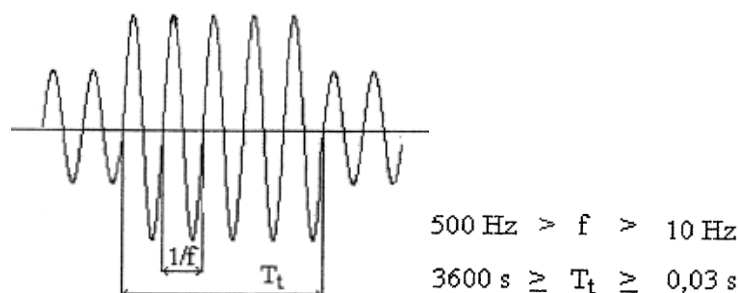
Zdroj: Hassman, T.: *-Přepětí v elektroenergetických soustavách*, 1. Vyd. Praha: ČVUT Praha 1997, 129 s. ISBN 80-01-01699-4.

2.1.5 Dočasná přepětí

Dočasné přepětí je přepětí trvající desítky sekund až několik hodin; je to dočasné zvýšení napětí v síti. Můžeme jej rozdělit do tří skupin:

- Přepětí s provozním nebo téměř provozním kmitočtem - po ztrátě zatížení, při nesouměrných poruchách atd.
- Přepětí s kmitočtem vyšším než 50 Hz - ultraharmonická rezonance vznikající například při zapínání transformátoru s nezatíženým vedením.
- Přepětí s kmitočtem nižším než 50 Hz - subharmonická rezonance ve vedeních se sériovou kompenzací.

Obr. 3 Dočasné přepětí



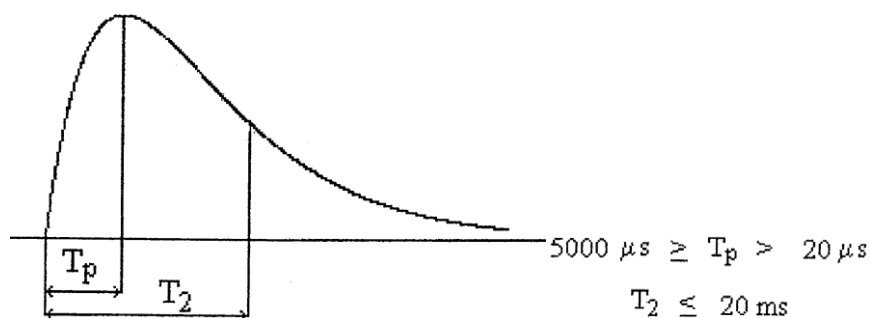
Zdroj: Hassman, T.: *-Přepětí v elektroenergetických soustavách*, 1. Vyd. Praha: ČVUT Praha 1997, 129 s. ISBN 80-01-01699-4.

2.1.6 Přebodná přepětí

Jsou to přepětí vznikající při vypínání, zapínání či přerušování zemního spojení v soustavách s izolovaným uzlem. Trvá milisekundy a méně, má tlumený impulzní nebo oscilační průběh. Přebodné přepětí dále rozdělujeme na:

- Přepětí pomalé s dlouhým čelem - nejčastěji impulzní s dobou do vrcholu $20 \cdot 10^{-6}$ s - $5000 \cdot 10^{-6}$ s a dobou půltýlu menší než $300 \cdot 10^{-6}$ s.

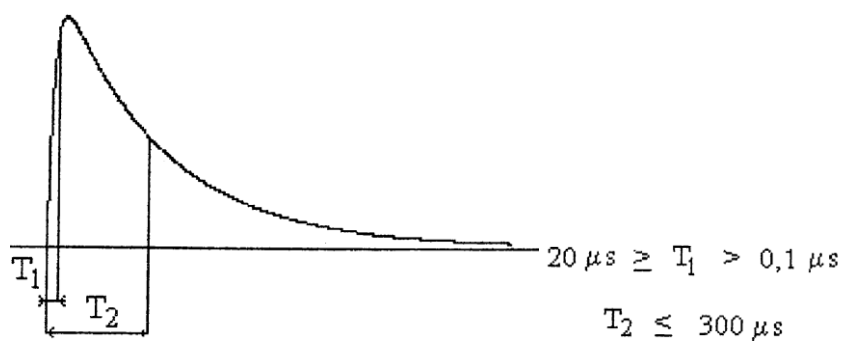
Obr. 4 Přebodné přepětí s dlouhým čelem



Zdroj: Hassman, T.: *-Přepětí v elektroenergetických soustavách*, 1. Vyd. Praha: ČVUT Praha 1997, 129 s. ISBN 80-01-01699-4.

- Přepětí rychlé s krátkým čelem - nejčastěji impulzní s dobou do vrcholu $0,1 \cdot 10^{-6}$ s - $20 \cdot 10^{-6}$ s a dobou půltýlu menší než $300 \cdot 10^{-6}$ s.

Obr. 5 Přebodné přepětí s krátkým čelem



Zdroj: Hassman, T.: *-Přepětí v elektroenergetických soustavách*, 1. Vyd. Praha: ČVUT Praha 1997, 129 s. ISBN 80-01-01699-4.

[8][11][14]

2.2 Zavedení svodičů přepětí

Dříve se před masivním nástupem elektroniky používala zařízení s izolací, která byla schopna odolat obvyklým přepětím. S příchodem elektroniky a polovodičové techniky, jejichž

výdržná schopnost odolat přepětím v síti není vysoká, nastala potřeba toto zařízení chránit, abychom zabránili škodám, které může přepětí způsobit.

Jakékoliv přepětí v síti je nežádoucí jev, který při překročení izolační hladiny způsobuje vysoké hospodářské škody. Proto se snažíme přepětí omezit na nejnížší úroveň jak do velikosti, tak do doby jeho trvání. K tomuto omezení slouží přístroje, které nazýváme svodiče přepětí.

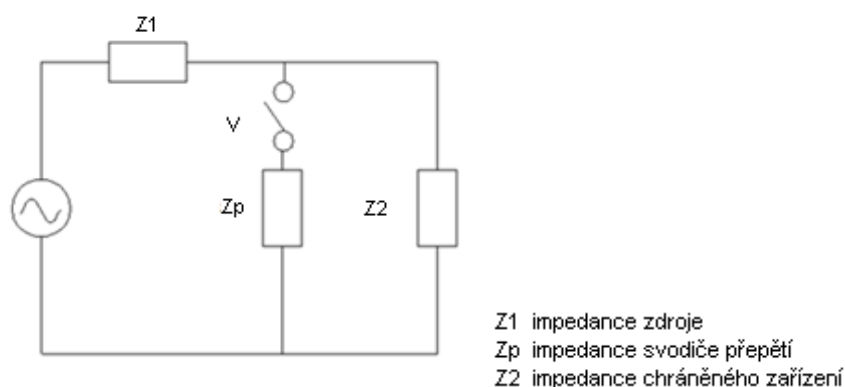
2.3 Definice svodiče přepětí

„Svodič přepětí je přístroj určený k ochraně elektrických zařízení před vysokým přechodovým napětím a často amplitudy následného proudu; termín „svodič přepětí“ zahrnuje jakékoliv vnější sériové jiskřiště, které je důležité pro správnou funkci přístroje v provozu, nehledě na to, zda je nebo není dodávané jako nedílná část tohoto přístroje.“

[2]

Svodiče přepětí se tedy zapojují paralelně k chráněným objektům a zajišťují těmto objektům ochranu před vznikem napětí vyšším než dovoleným. Na trhu existuje několik druhů svodičů přepětí s odlišnou konstrukcí a odlišnými vlastnostmi, jejichž společným znakem je s rostoucím napětím změna impedance. Impedance svodiče přepětí je v normálním stavu vysoká. Při vzniku přepětí se jeho impedance sníží rychle na velikost, kdy v podstatě způsobí zkrat. Náboj se prostřednictvím proudu svede svodičem do země, následně se impedance svodiče obnoví na původní velikost, a obnoví se jeho izolační pevnost.

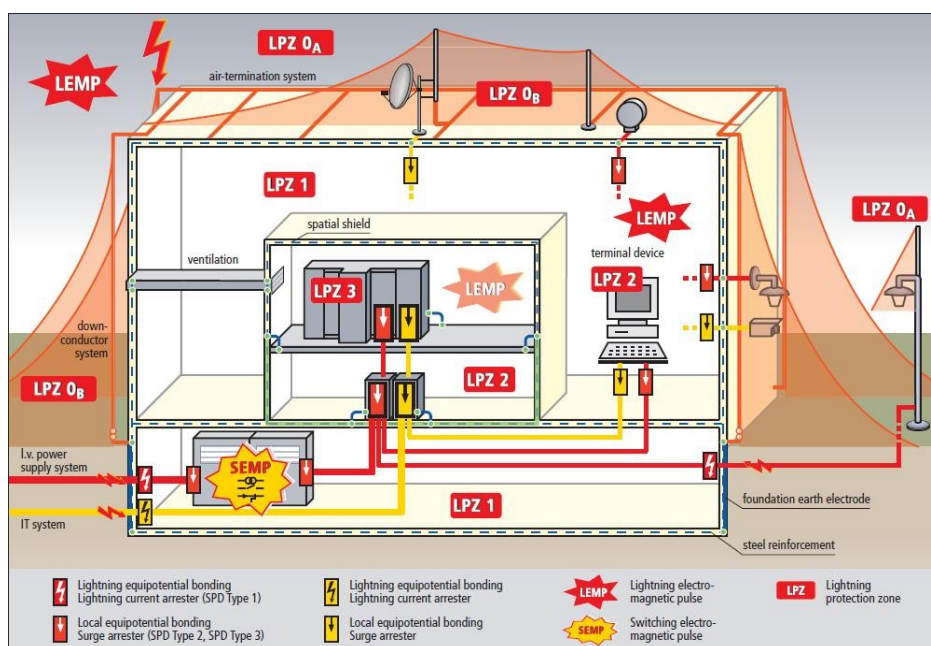
Obr. 6 Náhradní schéma svodiče přepětí



2.4 Koordinace svodičů

Aby se zaručilo co největší svedení přepětí (náboje) do země, je potřeba při návrhu ochrany před přepětím tyto ochrany odstupňovat (koordinovat). Tato koordinace vychází z rozdělení chráněných objektů na zóny ochrany před bleskem z normy ČSN EN 61643-11.

Obr. 7 Zóny ochrany před bleskem



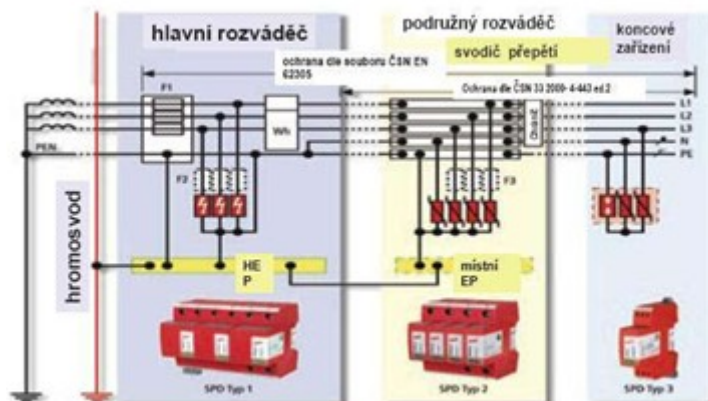
Zdroj: Přepěťové ochrany Hromosvody a uzemnění – katalog 2011 DEHN

„Zóny ochrany se liší dle možného působení blesku a jeho doprovodných jevů následujícím způsobem:

- LPZ 0A je zóna, ve které je ohrožení přímým úderem blesku a plným elektromagnetickým polem blesku. Vnitřní systémy mohou být vystaveny plnému nebo dílčímu impulznímu bleskovému proudu.
- LPZ 0B je zóna chráněná proti přímým úderům blesku, ale ve které je hrozba plného elektromagnetického pole blesku. Vnitřní systémy mohou být vystaveny dílčím impulzním proudům blesku.
- LPZ 1 je zóna, kde je impulzní proud omezen rozdělením proudu a SPD na rozhraní. Prostorové stínění může zeslabit elektromagnetické pole blesku. Již samotná definice LPZ 1 tedy předpokládá instalaci SPD, v tomto případě ve formě svodičů bleskových proudů (třída I, resp. B).
- LPZ 2 ... n je zóna, kde může být impulzní proud dále omezen rozdělením proudu a dalšími SPD na rozhraní. Další prostorové stínění může být použito pro další zeslabení elektromagnetického pole blesku. Definice zahrnuje instalaci dalších stupňů SPD (II, III, resp. C, D).
 - o SPD typ 1 - tyto svodiče svádějí impulzní proudy s vysokou amplitudovou hodnotou a nedochází u nich k destrukci ani k výpadku napájecí sítě. Umísťují se na vstupu nn sítě do budovy mezi živé vodiče a vodič PEN/PE a mezi sběrnice vyrovnání potenciálů. Po zasažení blesku např. do hromosvodu teče určitá část proudu do uzemňovací soustavy a část teče do vnitřní instalace. Svodiče přepětí by proto měly být schopny bez poškození svést

značnou část přepětí do země a propustit co nejmenší energetickou část na koncová zařízení a svodič SPD typu 2 a 3.

Obr. 8 Umístění SPD



Zdroj: Přepět'ové ochrany Hromosvody a uzemnění – katalog 2011 DEHN

- *SPD typ 2 - tyto svodiče se umísťují za SPD typ 1, například do podružných rozváděčů, kde jsou účinky přepětí již zmírněny. Mají nižší ochrannou napět'ovou hladinu a dimenzují se na menší impulsní proud.*

Obr. 9 Svodiče bleskových proudů na rozhraní LPZ



Zdroj: Přepět'ové ochrany Hromosvody a uzemnění – katalog 2011 DEHN

- *SPD typ 2 a 3 - umísťují se k jednotlivým spotřebičům nebo jako ochrana samostatných zásuvkových obvodů.*

[7]

Obr. 10 Přepět'ová ochrana pro koncové obvody



Zdroj: Přepět'ové ochrany Hromosvody a uzemnění – katalog 2011 DEHN

3 Historický vývoj

Pokud bychom se zajímali pouze o atmosférická přepětí, která se vyskytují nejčastěji, lze tento vývoj rozdělit do několika etap.

3.1 První etapa (do roku 1914)

V této době se předpokládalo, že četnost úderu blesku do vedení je nízká a není před ním ochrana. Začaly se používat závěsné izolátory, v laboratořích se začínalo zkoušet rázovým napětím. K ochraně vedení se používaly zemní lana nad vodiči a k ochraně stanic nespolehlivá zařízení - reaktory a svodiče přepětí. Znalost o atmosférických přepětích byla omezená, izolace vedení byla předimenzovaná, avšak izolace transformátorů byla naopak snížena. Proto četnost poruch v elektrických stanicích byla vyšší než na vedení.

3.2 Druhá etapa (1914-1929)

Vyvinuly se nové přístroje k měření rychlých přechodných dějů, pomocí nichž se podařilo získat některé informace o blesku, šíření vln na vedení a vinutí transformátoru. V této etapě se stále předpokládalo, že pravděpodobnost přímého úderu blesku do vedení je malá, a že se proti němu nelze bránit. Proto hlavní účel ochrany před atmosférickým přepětím spočíval v ochraně před indukovaným přepětím.

3.3 Třetí etapa (1930-1939)

Na základě studií ochranných prostorů se objevují první práce o možnostech ochrany před přímým úderem blesku. U vedení vysokého napětí se vysoko nad vodiče umísťují zemní lana a uzemňují se stožáry. Zpřesňují se rázové charakteristiky izolace i výpočtové metody a shromažďují se informace o bleskových proudech. Začínají se objevovat první spolehlivé svodiče přepětí.

3.4 Čtvrtá etapa (1940-1956)

Zavádějí se jednopólové a trojpólové OZ (opětovné zapnutí), čímž se zvyšuje spolehlivost dodávky elektrické energie. Zpřesňují se výpočetní metody poruchovosti a zavádějí se modelové metody k výpočtu vln na vedení. Svodiče přepětí se začínají používat v hojné míře.

3.5 Pátá etapa (1956 - současnost)

Na dvojitých vedeních VVN s velmi vysokými stožáry se vyskytuje obrovské množství poruch následkem atmosférických přepětí. Ukázalo se, že znalost této problematiky má stále ještě velké mezery a výzkum pokračuje třemi hlavními směry.

- Revize dosavadních znalostí o fyzice bleskového výboje, četnosti zásahu, amplitudě, strmosti a tvarů bleskových proudů.
- Zpracování metody k výpočtům atmosférických přepětí na vedeních.
- Rázová izolační pevnost dlouhých řetězců při strmých vlnách.

Díky těmto novým směrům byly uvedeny nové teorie o bleskových výbojích a nové metodiky k výpočtu přepětí.

[6]

4 Rozdělení svodičů přepětí

4.1 Rozdělení svodičů dle napěťové hladiny - svodiče přepětí na:

- Malé napětí-nepřekračuje mez 50 V AC.
- Nízké napětí-50 V AC až 1000 V AC.
- Vysoké napětí-1000 V AC až $52 \cdot 10^3$ V AC.
- Velmi vysoké napětí- $52 \cdot 10^3$ V AC až $300 \cdot 10^3$ V AC.
- Zvlášť vysoké napětí- $300 \cdot 10^3$ V AC až $800 \cdot 10^3$ V AC.

4.2 Konstrukce svodičů přepětí:

Svodiče přepětí se skládají z několika částí:

- Jiskřiště.
- Napěťově závislý odpor.
- Pouzdro.

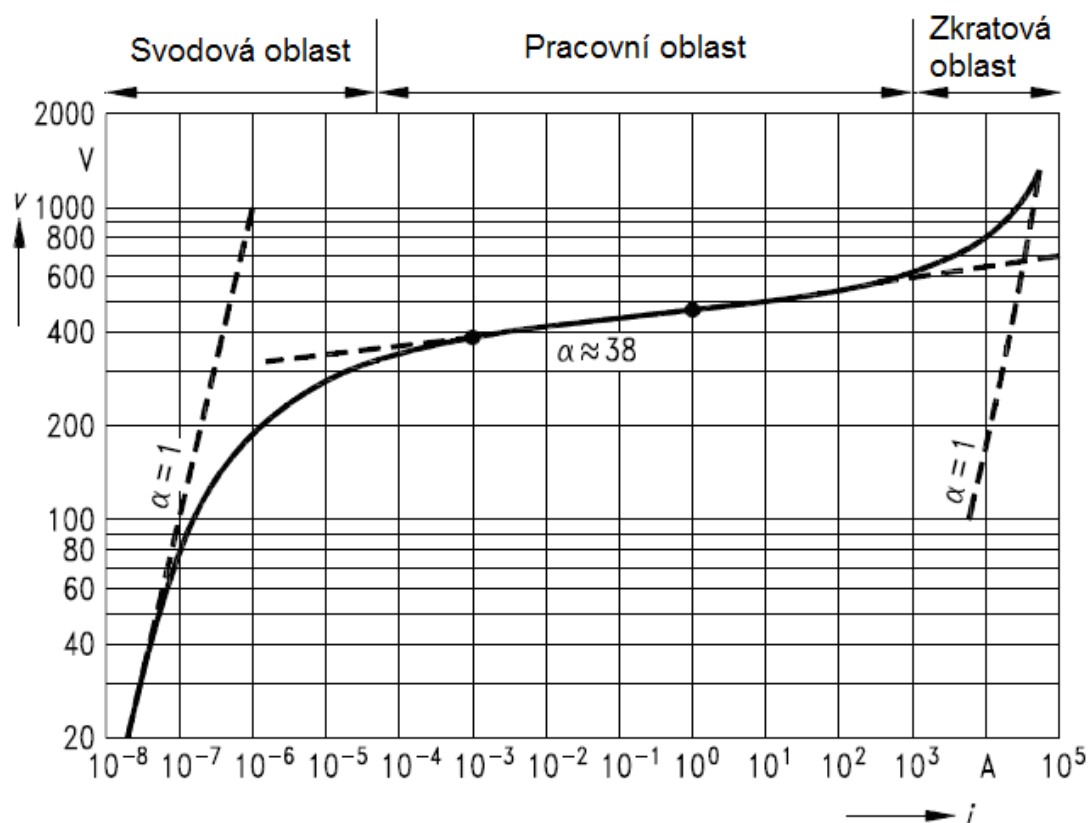
4.3 Druhy omezovačů a svodičů přepětí:

- Varistor.
- Plynová výbojka.
- Supresorová dioda.
- Koordinační jiskřiště
- Bleskojistky.
- Ventilová bleskojistka.
- Törroková trubice.
- Omezovač přepětí.

4.3.1 Varistor

Jedná se o nelineární odpor, jehož velikost s rostoucím napětím klesá.

Obr. 11 VA charakteristika varistoru SIOV-B60K250



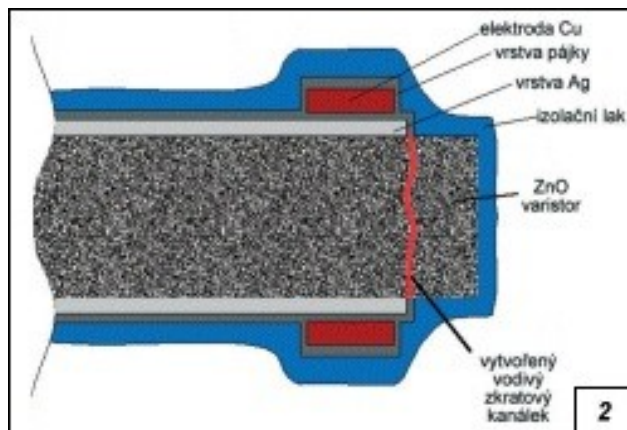
Zdroj: http://www.fel.zcu.cz/Data/documents/sem_de_2011/ing_kubik-zcu.pdf

Vyrábí se spékáním a lisováním například zrněk karbidu křemíku nebo oxidů různých kovů - například zinku. Na hranicích těchto zrn se vytvoří polovodivé rozhraní a VA charakteristika je tím pádem tvořena z řádově tisíců antiparalelně a paralelně zapojených diod. Charakteristiky s přechodem mezi stavem kdy odpor prudce klesá a nevodivým stavem, se dosahuje vhodnou technologií výroby a správným složením materiálů. Jejich charakteristika je symetrická. Mezi hlavní výhody varistoru patří vysoká působící rychlost. Mezi hlavní nevýhody naopak patří nízký trvalý protékající proud a odolnost vůči impulsním proudům. Životnost varistoru je závislá na četnosti působení a stárnutí, kdy klesá jeho odpor a zvyšuje se protékající klidový proud. Klidový protékající proud ničí polovodivé přechody a z takřka pravoúhlé voltampérové charakteristiky se stává „přímka“. Klidový protékající proud se nadále zvyšuje a následně se varistor otepluje, což proces stárnutí urychluje. Varistor proto bývá vybaven odpojovačem, aby nedošlo k jeho zahoření. Odpojení je zajištěno roztavením pájky na kontaktech při teplotě blízké se 1200°C. Varistory bývají vybaveny optickou, mechanickou, elektrickou nebo kombinovanou signalizací, zajišťující rozpoznání vadného kusu. Proto se varistory ve svodičích přepětí vyrábějí často jako modulární výměnné přístroje.

Kontrola vyrobených varistorů zahrnuje zkoumání několika bodů voltampérové charakteristiky. Kontrolu varistorů lze provádět i po delší době, kdy je svodič v provozu. Nejčastějším kontrolovaným bodem voltampérové charakteristiky je takzvaný „miliampérový

bod“, udávající hodnotu stejnosměrného napětí, které vyvolá ve varistoru proud $1 \cdot 10^{-3} \text{ A}$. Například u varistorů s provozním maximálním napětím 275V je hodnota stejnosměrného napětí kolem 430V.

Obr. 12 Řez varistorem

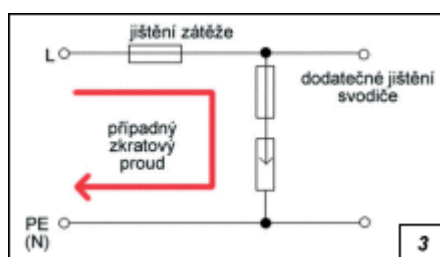


Zdroj: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26801

Svodiče typu SPD2 pro NN rozvody jsou zkoušeny maximálním svodovým proudem jednorázově $I_{\max} 40 \cdot 10^3 \text{ A}(8/20)$, nebo proudovou vlnou $20 \cdot 10^3 \text{ A}(8/20)$ dvacetkrát.

Při aktivaci svodiče impulsním proudem s vysokou vrcholovou hodnotou překračující maximální povolené hodnoty může dojít k explozi varistoru, která způsobí zkrat, nebo v tomto místě může docházet k povrchovým výbojům. Tímto proudem se nemusí varistor zahřát a tím pádem nezareaguje ani tepelný odpojovač. Poté reagují předřazené jističe a pojistky.

Obr. 13 Schéma zapojení varistoru a jištění



Zdroj: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26801

Aby se předcházelo těmto nechtěným stavům, opatřují se svodiče navíc dynamickým odpojovačem reagujícím na proudy s vysokou vrcholovou hodnotou.

[3][7]

„Nejčastější chyby vedoucí k okamžitému zničení varistoru:

Připojení varistoru pro jmenovité napětí 240 V AC ke sdruženému napětí 400 V AC (záměna vodiče PE (N) a fázového vodiče).

Uvolnění vodiče N, popř. PEN, v síti s nesymetrickým odběrem.

Co zkracuje životnost varistorových svodičů:

Dlouhodobě nebo trvale zvýšené napětí (nad hodnotu U_N).

Kolísání napětí spojené s překračováním hodnoty U_N .

Vysoký podíl harmonických, které zvyšují maximální hodnoty napětí v síti.

Časté svádění impulsních proudů, např. v blízkosti neošetřených (vadných) stykačů, neošetřených a často spínaných indukčních zátěží, blízkost neodrušených měničů apod.

Časté bouřky a vzdálené i blízké údery blesků.

Trvale zvýšená provozní teplota.

Nedodržení technologie výroby varistoru a svodiče (nečistoty, nedostatečná izolace, nízký varistorový bod apod.). “

[3]

4.3.2 Plynová výbojka

Tato výbojka je jiskřiště v hermeticky uzavřené nízkotlaké nádobě plněné inertním plynem, čímž se dosáhne nižších ochranných hladin při nižších impulsních proudech. V momentě přesažení napětí potřebného k zapálení se v komoře mezi elektrodami vytváří elektrický oblouk. Díky tomu je redukováno přepětí na hodnotu napětí v oblouku.

4.3.3 Supresorová dioda

Mluvíme zde o v podstatě rychlé Zenerové diodě zapojené v protisměru. Závěrný proud této diody se při určitém závěrném napětí strmě zvětší a při dosažení průrazného napětí diody se tato stane vodivou a přepětí se svede do země. Používají se převážně k ochraně datových sítí.

K ochraně před přepětím se používají také kombinované přepět'ové ochrany, které jsou tvořeny například varistorem a jiskřištěm, supresorovou diodou a plynovou výbojkou.

4.3.4 Koordinační jiskřiště

Mezi nejjednodušší a nejlevnější svodič přepětí řadíme ochranné koordinační jiskřiště, které výbojem mezi dvěma elektrodami mění svou impedanci. Při menších napětích než je napětí zapalovací (zapalovací napětí stanovuje zapalovací vlastnosti svodičů) má toto jiskřiště impedanci danou pouze svodem. Ten je v podstatě zanedbatelný. Překročí-li se napětí potřebné k zapálení, je impedance dána nízkým odporem oblouku. Mezi nevýhody jiskřiště patří hoření elektrického oblouku mezi elektrodami i po odeznění přepětí. Je udržován jmenovitým napětím sítě. Tímto jiskřištěm prochází následný proud, který v podstatě představuje zkrat. Koordinační jiskřiště se často používá v rozvodných soustavách ke koordinaci přeskokové hladiny izolátorů - k uvedení přeskokové hladiny izolátorů na stejnou hodnotu, aby se zabránilo jejich poškození.

[4]

4.3.5 Bleskojistka

Tyto přístroje obsahují kromě jiskřiště ještě závislý odpor nebo prostředek k uhašení oblouku, jejichž účelem je omezení následného proudu na hodnotu, kterou už dokáže přerušit jiskřiště v době kratší, než je jedna půlvlna napětí. Pokud by odpor měl stálou hodnotu nastavenou na nejvhodnější omezení amplitudy proudu s kmitočtem 50Hz, potom by spád napětí vznikající na jeho svorkách průchodem rázového proudu byl tak obrovský, že by se bleskojistka stala sama zdrojem přepětí. A právě proto se používá takových odporů, jejichž hodnota se stoupajícím proudem klesá.

Jejich statická charakteristika se dá vyjádřit vztahem:

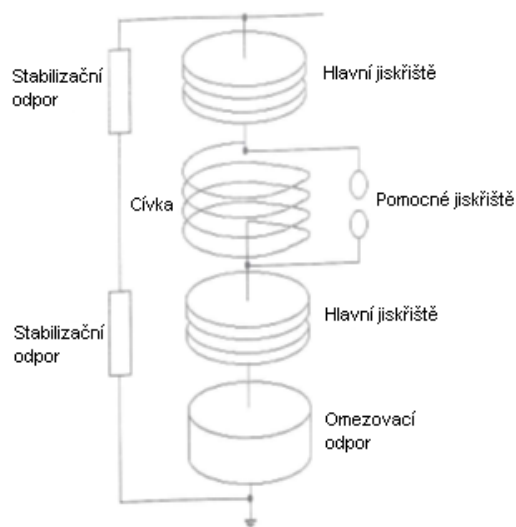
$$U=k.I\alpha \text{ [V;-;A]} \quad (1)$$

- Kde k je konstanta závislá na jaké napěťové hladině se svodiče přepětí používají a α nabývá hodnot 2-6 pro SiC a 20-50 pro ZnO.

4.3.6 Ventilová bleskojistka

Obr. 14 Ventilová bleskojistka VA102/10.2, rok výroby 1980

Obr. 15 Schéma bleskojistky



Zdroj: Vlastní dokumentace; Hassman, T.: *-Přepětí v elektroenergetických soustavách*, 1. Vyd. Praha: ČVUT Praha 1997, 129 s. ISBN 80-01-01699-4.

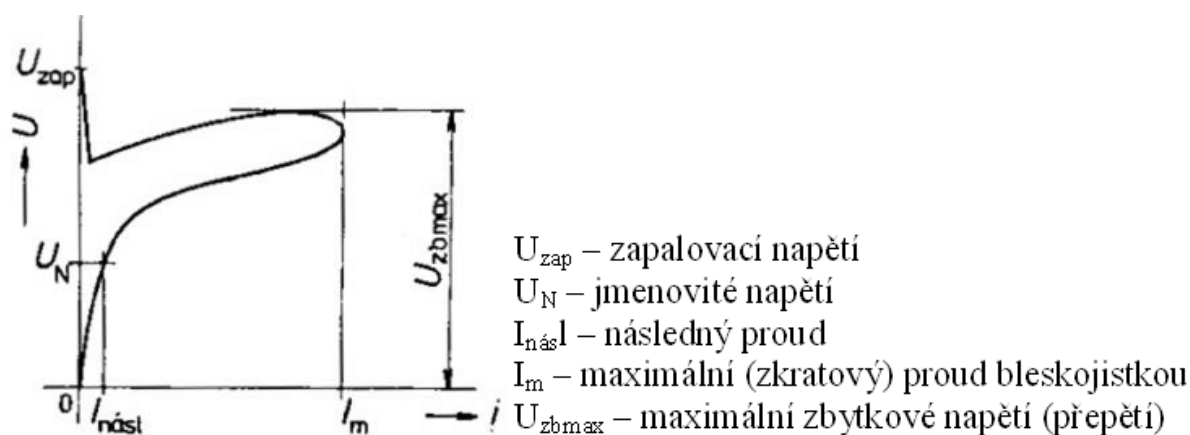
Ventilová bleskojistka se skládá z jiskřiště a napěťově závislých odporů. Vše je hermeticky uzavřeno v porcelánovém tělese. Napěťově závislé odpory se vyráběly z karbidu křemíku SiC. Jiskřiště je zde kvůli galvanickému oddělení částí pod napětím, aby za normálních okolností neprocházel odporovými díly žádný proud. Zapalovací napětí stanovuje zapalovací vlastnosti bleskojistky. Jiskřiště zhasí následný proud procházející bleskojistkou v momentě, kdy rázová vlna přestává procházet odpory.

Na obrázku výše je znázorněna ventilová bleskojistka, která se skládá ze dvou hlavních jiskřišť a z magnetické cívky s paralelně zapojeným pomocným jiskřištěm. Do série s jiskřištěm je zapojen napěťově závislý omezovací odpor a paralelně k jiskřištům jsou stabilizační - napěťově závislé odpory. Při vzniku přepětí dojde k zapálení hlavních jiskřišť a k průchodu proudu přes cívku a omezovací odpor. Nárůstem proudu dojde ke vzniku napětí na cívce a následně k zapálení pomocného jiskřiště. Cívka je v tento moment vyřazena z obvodu. Impedance bleskojistky je v tuto chvíli dána úbytkem na odporu. Po svedení přepětí se zmenší impedance cívky, čímž dojde na pomocném jiskřišti k uhašení oblouku a cívka je

opětovně zařazena do obvodu. Magnetické pole, které vytváří cívka, vytlačuje obloukové výboje z hlavních jiskřišť do zhášecích komor a dochází tak k přerušení výbojů a k zamezení následného proudu. Napětíově závislé odpory omezují vliv vnějších polí na jiskřiště, zajišťují rovnoměrnější rozložení napětí na jiskřištích a stabilizují zapalovací napětí bleskojistky. Jiskřiště bývají vybaveny ionizačními tyčinkami zvyšující koncentraci nosičů náboje v prostorech jiskřišť a zkracují dobu výstavby výboje. Zapalovací napětí závisí na strmosti přepětí a na vlastnostech jiskřiště.

[4]

Obr. 16 VA-charakteristika bleskojistky



Zdroj: Elektrické přístroje v EE: Ing. Jan Sedláček, Ph.D.

4.3.7 Törroková trubice

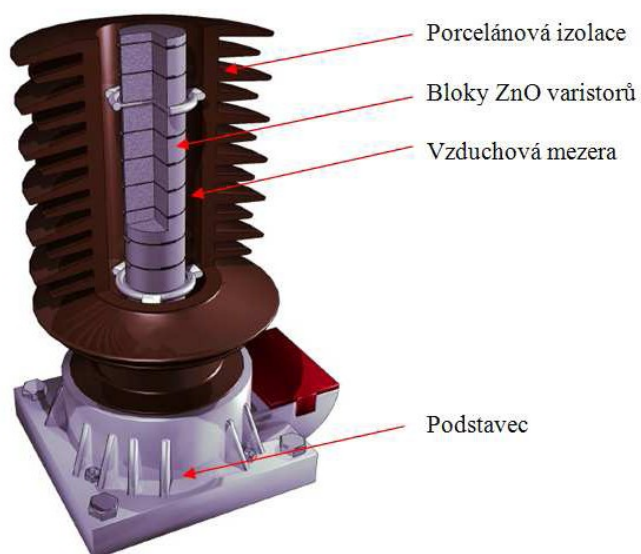
Tento přístroj se skládá z jiskřiště a vyfukovací trubice. Trubice je vyrobena z plynotvorného materiálu, který se teplem při působení oblouku velice silně zplyňuje. Při vzniku přepětí se prorazí jiskřiště, následně se prorazí i jiskřiště v trubici a vzniká oblouk, v němž se ztrácí energie blesku, ale taktéž v něm prochází proud, který rozkládá materiál trubice na plyny, které se vyfouknou otvorem mimo do okolí a obnoví se elektrická pevnost mezi elektrodami a oblouk se při průchodu nulou uhasí. Tyto bleskojistky je nebezpečné používat v kompenzovaných sítích, kde bývá nízký následný proud vlivem zemní impedance. Jeho intenzita není tak vysoká, aby dokázala rozložit množství plynotvorné látky potřebné k uhašení oblouku, a ten hoří do té doby, než zapůsobí ochrana a vypne vypínač. Nejmenší hodnota, kterou je schopna Törroková trubice uhasit je kolem 20 A. Další nevýhodou je omezená životnost, čítající kolem dvou set působení. Tyto přístroje se však již takřka nepoužívají.

[9]

4.3.8 Omezovač přepětí

Technologický vývoj výroby závislých odporů na bázi kysličníku zinečnatého ZnO dovolil zvýšit α ve vztahu 1 na hodnotu 20-50 a to zhruba při napětí o 10% nižším, než je jmenovité zbytkové napětí při proudu $10 \cdot 10^3 \text{ A}$. Tímto odporem protéká asi o tři řády nižší proud, než u odporu na bázi karbidu křemíku SiC. Tato vlastnost dovolila přímé použití odporů na bázi kysličníku zinečnatého ZnO bez zapalovacích jiskřišť.

Obrázek 17 Řez omezovačem přepětí s porcelánovým pouzdrem



Zdroj: Návrh svodičů přepětí v průmyslovém rozvodu: Michal Korejčík

Při návrhu svodiče je nutné brát v úvahu závislost odporu na teplotě. Při dlouhodobém zvýšení napětí na omezovači klesá jeho odpor, zároveň však dochází k nárůstu proudu a tím pádem i k vývinu tepla. Pokud by nedocházelo k dostatečnému chlazení, došlo by k dalšímu poklesu odporu a k dalšímu zvýšení ztrát. Tepelná nestabilita by mohla vést k havárii omezovače.

[3][5][8][14]

5 Technická diagnostika

„DIA-GNOSIS znamená v řečtině „skrze poznání“. Pojem diagnóza byl původně převzat jen pro lékařské vyšetření pacienta a teprve mnohem později byl využit i pro technické aplikace.“

[10]

„Technická diagnostika je proces, při kterém se zjišťuje aktuální technický stav objektů na základě objektivního vyhodnocení příznaků zjištěných diagnostickými prostředky měřicí techniky a smyslovým vnímáním, postupy bezdemonťážními a nedestruktivními.“

[13]

„Vlastním cílem diagnostiky není měření, ale prodlužování životnosti zařízení, předcházení havárií a plánovitě a účelně provádění oprav, a tím minimalizace nákladů na údržbu.“

[13]

5.1 Diagnostika

Diagnostika je okamžité vyhodnocování technického stavu objektu. Jedná se o vyhodnocení spolehlivosti a provozuschopnosti zařízení za daných podmínek.

[10]

Prognostika je určení vývoje stavu zařízení v budoucnosti. Je to složitý proces, který vychází ze znalosti zařízení a ze statistických vyhodnocení prováděných diagnostických zkoušek. Na základě prognostiky se určuje bezporuchovost zařízení, popřípadě se provádí zásah do zařízení.

[10]

„Genetika je analýza možných nebo pravděpodobných příčin vzniku poruchy a předčasným zhoršením technického stavu objektu.“

[10]

5.2 Diagnostické prostředky

Diagnostické prostředky jsou soubory postupů a technických zařízení sloužících k vyhodnocení stavu zařízení. Diagnostické prostředky mohou být:

- On-line prostředky umožňují sledovat a diagnostikovat zařízení za chodu bez nutnosti odstavení sledovaného objektu z provozu. Tento monitoring může buď v pravidelných intervalech, nebo pomocí trvalého sledování zaznamenat vývoj trendů pozorovaných veličin a v závislosti na nich provádět následné zásahy a opravy.
- Off-line prostředky jsou soubory metod a zařízení sloužících k diagnostice zařízení vyjmutých z provozu.

[10]

5.3 Technický stav objektu

Technický stav objektu je dán souborem vybraných vlastností objektů, na základě kterých se posuzuje aktuální technický stav objektu. Vlastnosti objektu se v čase mění, a proto technický stav objektu definujeme jako schopnost zařízení konat požadovanou funkci za stanovených podmínek. Pro posouzení technického stavu jednotlivých objektů se používají diagnostické ukazatele odvozené z jednoho nebo více naměřených parametrů.

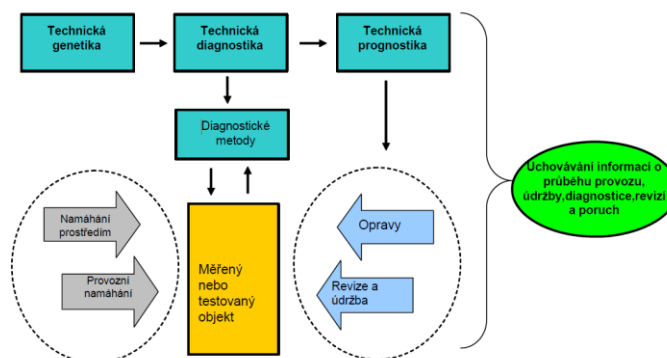
[10]

5.4 Metody a koncepce technické diagnostiky

„Metody technické diagnostiky mají stanovit míru degradace funkčních vlastností objektu, případně výskyt závad a částečných poruch a jejich lokalizaci. Objekt je provozuschopný, jestliže je schopen vykonávat stanovené funkce dle technických podmínek. Porucha je jev způsobující ukončení provozuschopnosti objektu. V praxi zřídka dochází k tzv. náhlé poruše vlivem skokové změny jednoho nebo více parametrů, ale k postupné změně hodnot parametrů. Tento jev je označován jako závada, což je stav, při němž dochází k odchylce hodnoty měřeného parametru. Technický stav se zhoršuje postupně. Všechny poruchy jsou vadami, ale ne všechny vady způsobí poruchu.“

[13]

Obr. 18 Koncepce technické diagnostiky



Zdroj: Chmelík, K.: Technická diagnostika na elektrických zařízeních

6 Diagnostika svodičů přepětí

Svodiče přepětí, jakožto důležitý ochranný prvek elektrické soustavy, jsou v průběhu svého života namáhány řadou faktorů ovlivňujících jejich funkci. Může se jednat o normální napětí, krátkodobá a dlouhodobá přepětí či přepětí vzniklá úderem blesku. Tyto faktory mohou způsobit nárůst odporové složky trvalého svodového proudu tekoucím omezovačem přepětí a způsobit tak následnou poruchu. Proto by měla být diagnostika svodičů přepětí ověřující provozuschopnost a životnost jejich nedílnou součástí.

6.1 Diagnostika svodičů přepětí nn

U svodičů přepětí nn se jako výkonného prvku používají polovodiče - například supresorové diody a metaloxidové variátory. Kontrola vyrobených varistorů zahrnuje zkoumání několika bodů voltampérové charakteristiky. Kontrolu lze provádět i po delší době, kdy je svodič v provozu. Nejčastějším kontrolovaným bodem voltampérové charakteristiky je takzvaný „miliampérový bod“ udávající hodnotu stejnosměrného napětí, které vyvolá ve varistoru proud $1 \cdot 10^{-3} \text{ A}$, což je horní mez, kdy varistor ztrácí odpor a otevírá se. U varistorů s provozním maximálním napětím 275V je hodnota stejnosměrného napětí kolem 430V.

Tato hodnota se časem mění. Záleží na několika faktorech, ať už je to umístění svodiče, či jeho zatěžování. Proto výrobci dodávají toleranční pole hodnot miliampérového bodu pro každý typ svodiče tak, aby byla zajištěna jeho ochranná úroveň.

Na trhu jsou jednoúčelové univerzální měřicí přístroje sloužící k měření miliampérového bodu, například od firmy DEHN+SÖHNE, popřípadě někteří výrobci dodávají ke kontrole stavu svodičů měřicí přístroje vlastní výroby.

[3] [7]

6.2 Diagnostika svodičů přepětí vn - zvn

Značná část metod určujících stav omezovačů přepětí je založena na měření svodového proudu. Porušení izolačních vlastností způsobí při dané teplotě a velikosti napětí nárůst odporové složky svodového proudu a činných ztrát. Tato metoda se dá rozdělit na diagnostiku omezovačů přepětí za provozu (on-line) a na diagnostiku omezovačů přepětí vyjmutých z provozu (off-line).

K určení stavu svodičů přepětí (s jiskřištěm) se používá měření svodového proudu, dále měření střídavého zapalovacího napětí a měření rázového zapalovacího napětí napěťovou vlnou $1,2/50 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ do okamžiku zapálení.

[1]

6.2.1 Diagnostika svodičů přepětí za provozu (on-line)

Během provozu přístroje se provádí pravidelné kontroly v daných intervalech nebo ve zkrácených intervalech v závislosti na aktuálním stavu daného zařízení. Mezi nejpoužívanější metody patří:

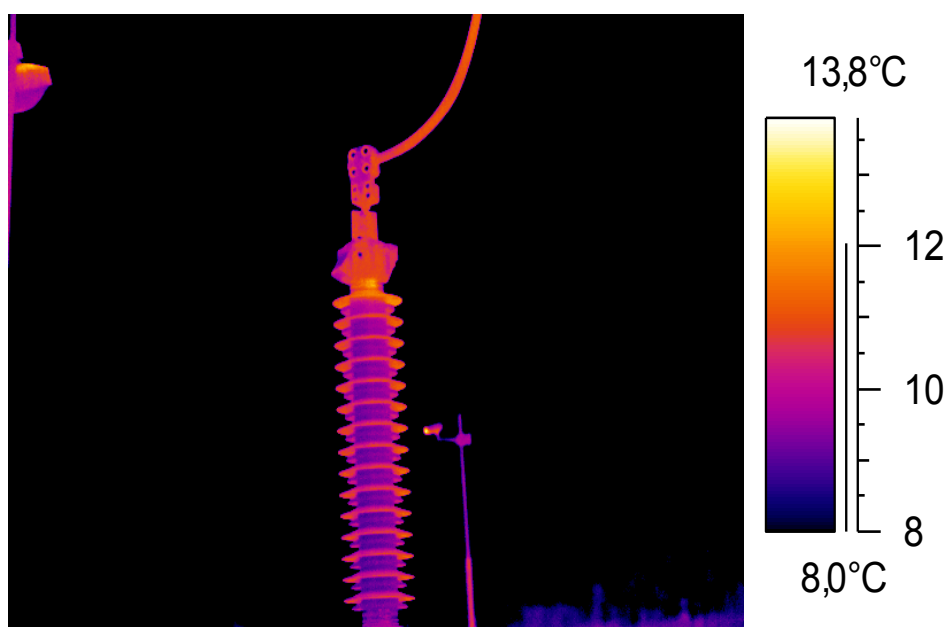
- Měření teploty.
- Měření 3. harmonické odporové složky svodového proudu.

6.2.1.1 Měření teploty

Toto měření se může provádět na dálku termovizními metodami a provádí se zejména porovnávací metodou.

[12]

Obr. 19 Termovizní snímek svodiče přepětí 110kV



Zdroj: Vlastní dokumentace

6.2.1.2 Měření 3. harmonické odporové složky svodového proudu

Harmonické složky 3. řádu proudu jsou eliminovány, aby byla zjištěna 3. harmonická odporové složky proudu, generovaná svodičem přepětí. Třetí harmonická je největší harmonická složka rezistivního proudu a často se používá pro diagnostická měření. Tuto složku lze vztáhnout k celkové velikosti odporového svodového proudu a je kritériem pro vyhodnocení celkového stavu svodiče přepětí. Pro toto měření se používá například přístroj LCM II, který je možné používat jako přenosný přístroj pro pravidelné periodické kontroly, nebo jako přístroj pro trvalé monitorování. Metoda, kterou přístroj využívá, se nazývá analýza harmonické 3. řádu s kompenzací harmonických složek v napětí soustavy. Svodič přepětí je

namáhán sinusovým napětím, nelineární odpor bloku ZnO zavede 3. harmonickou odporového proudu do svodového proudu. Tato složka je tedy generována omezovačem přepětí a bylo zjištěno, že tato metoda představuje nejlepší nástroj ke zjišťování změn nelineární charakteristiky v průběhu stárnutí omezovačů přepětí.

Obr. 20 Měřicí přístroj LCM II



Zdroj: Uživatelská příručka měřicího přístroje LCM II

Odporová složka svodového proudu závisí na provozním napětí a na teplotě samotného svodiče přepětí, respektive na teplotě okolí. Pokud by nebyly hodnoty napětí a teploty brány v úvahu, lišila by se hodnota odporové složky svodového proudu ve značném rozsahu (viz. tabulka 1 hodnot), kdy bylo provedeno měření pro různé napětí a různé teploty.

Obr. 21 Diagnostika svodiče přepětí přístrojem LCMII- měření 3. harmonické odporové složky svodového proudu



Zdroj: Vlastní dokumentace; Uživatelská příručka měřicího přístroje LCM II.

Tabulka 1

Teplota[C]	0	0	0	20	20	20	40	40	40	50	50	50
Systémové napětí [10^3 V]	380	400	420	380	400	420	380	400	420	380	400	420
Naměřená hodnota [10^{-6} A], nekorigovaná	31	39	47	47	48	70	67	82	99	75	92	112
Naměřená hodnota [10^{-6} A], korigovaná	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46

Vzhledem k tomu, že nelze zajistit měření vždy při stejné teplotě, respektive při teplotě 20 °C, provádí se proto korekce - přepočet na tuto teplotu, aby byl zajištěn spolehlivý výsledek a jeho možnost porovnání s výsledkem z předešlého měření. Pro správné vyhodnocení a určení stavu omezovače je důležité znát parametry od výrobce, se kterými jsou naměřené hodnoty porovnávány, a dle kterých jsou následně vyhodnoceny.

[5]

6.2.2 Diagnostika svodičů přepětí vyjmutých z provozu (offline)

6.2.2.1 Měření svodového proudu

Napětí z externího zdroje se přiloží na bleskojistku a zvyšuje se do hodnoty U_s pro kterou platí vztah $U_s = 0,7 \cdot U_N$ [V;-;V], kde U_s je napětí při kterém se měří svodový proud a U_N je jmenovité napětí bleskojistky nebo dílu bleskojistky. Na ampérmetru se odečítá hodnota svodového proudu při dosaženém napětí U_s , a neměla by překročit hodnotu $0,5 \cdot 10^{-3}$ A a hodnotu $0,7 \cdot 10^{-3}$ A u bleskojistky s kapacitním kruhem.

[12]

6.2.2.2 Měření střídavého zapalovacího napětí

Napětí z externího zdroje se přiloží na bleskojistku v nulové hodnotě, aby nedošlo k zapálení bleskojistky. Zvyšuje se postupně na hodnotu zapalovacího napětí, která se odečte z voltmetru v momentě zapálení bleskojistky. Proud, který prochází bleskojistkou po jejím zapálení, se má vypnout do 0,5 s a vnější impedancí by měl být omezen na hodnotu menší, než 0,7 A. Například nejmenší hodnota zapalovacího napětí pro bleskojistku $60 \cdot 10^3$ V je $90 \cdot 10^3$ V.

[12]

Obr. 22 Diagnostika bleskojistky 110kV - měření střídavého zapalovacího napětí



Zdroj: Vlastní dokumentace

7 Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se snažil poskytnout komplexní pohled na problematiku zabývající se ochranou proti přepětí. V této práci jsem uvedl druhy přepětí, které mohou za různých podmínek a situací v elektrické soustavě vznikat. Upozornil jsem na neustále se rozvíjející úlohu elektronických zařízení v našich každodenních životech, využívání elektroniky ve zdravotnických zařízeních, v systémech řízení a regulace, a na potřebu tato zařízení chránit. Jejich selhání může způsobit nejenom rozsáhlé hospodářské a finanční škody, ale selhání některých přístrojů může způsobit zdravotní komplikace a v nejhorších případech i ztrátu života.

Zjišťoval jsem, jakým způsobem bylo k ochraně proti přepětí přistupováno v minulosti a jakým vývojem ochrana proti přepětí prošla od minulého století až do současnosti. Dále jsem provedl rozdělení a popis nejpoužívanějších typů svodičů přepětí.

Jelikož svodiče přepětí patří k důležitým, ale nákladným ochranným prvkům elektrické soustavy, uvedl jsem některé možnosti jejich diagnostiky k zajištění správné činnosti této ochrany.

Při studiu různých pramenů jsem se setkal s rozdílným přístupem k názvosloví svodičů přepětí. Někteří výrobci neuvádějí k popisu svých produktů správnou terminologii a dochází tím k matení zákazníka.

8 Literatura

- [1] ČSN EN 60099-5:1999/A1 *Svodiče přepětí - Část 5: Doporučení pro volbu a použití.*
- [2] ČSN EN 60099-1: 1996, *Svodiče přepětí - Část 1: Bleskojistky s nelineárními odpory a jiskřišti pro soustavy se střídavým napětím.*
- [3] Dudáš, J.: *Časopis Elektro*, FCC PUBLIC Praha 2006.
- [4] Hassman, T.: *-Přepětí v elektroenergetických soustavách*, 1. Vyd. Praha: ČVUT Praha 1997, 129 s. ISBN 80-01-01699-4.
- [5] *Uživatelská příručka měřicího přístroje LCM II.*
- [6] Jirků, F., Popolanský, F.: *Atmosférická přepětí v rozvodu elektrické energie.*
- [7] *Katalogy a stránky výrobců Moeller, Dehn.*
- [8] Koudelka, C., Vrána V, *Ochrana před přepětím*, VŠB TUO, Ostrava 2006.
- [9] Klier, J.: *Elektrické přístroje v energetických zařízeních*, 1. Vyd. Praha, 328 s.
- [10] Kreidl, M., Šmíd R.: *Technická diagnostika, 4.díl*, BEN Praha 2006.
- [11] Mach, V.: *Technika vysokého napětí*, 2. Vyd. Ostrava: 2001, 110 s. ISBN 80-7078-879-8 .
- [12] Metodika ČDS: *Pracovní postupy - Diagnostika svodičů přepětí.*
- [13] Veverka, A.: *Diagnostika vypínačů vvn*, Bakalářská práce VŠB TUO Ostrava.
- [14] Veverka, A.: *Technika vysokých napětí*, 2. vyd. Praha: SNTL 1978, 296 s. ISBN 04-512-78.